EVOLUCION DIAGENETICA EN LOS SEDIMENTOS CARBONATADOS MARINOS DEL PLEISTOCENO DE MALLORCA

por F. Calvet Rovira y M. Esteban Cerdá***

RESUMEN

Las especiales características de la bien conocida estratigrafía del Pleistoceno de Mallorca, permiten un estudio prácticamente continuo y secuencial de los procesos diagenéticos. La mayor parte de estos procesos ocurren en un período de tiempo relativamente corto (menos de 300.000 años). La variabilidad de la evolución diagenética de distintos afloramientos de una misma edad denota la importancia de los controles locales (textura, mineralogía, hidrología, clima), más que la cronoestratigrafía. La distribución de algunos elementos traza (Sr, Mg, Mn) muestra una disminución progresiva a lo largo de la historia diagenética. La correlación con los otros modelos diagenéticos (Bermuda e Israel) muestra una similitud general, pero una velocidad de cementación más pequeña y velocidad de disolución del aragonito más alta.

ABSTRACT

The well known stratigraphy of the Mallorcan Pleistocene allows a sequential, continuous study of the diagenetic processes in carbonate sediments. The majority of these processes occur in a relatively rapid period of time. (less than 300.000 years). Variability in the diagenetic evolution in different outcrops of the same age points out the importance of local controls (texture, mineralogy, hidrology, climate...), rather than chronostratrigraphy. The distribution of some trace elements (Sr, Mg, Mn) show a progressive diminution along the diagenetic history. Correlation with other diagenetic models (Bermuda and Israel) show a general similarity but a smaller rate of cementation and a higher rate of aragonite dissolution.

* Departamento de Petrología y Geoquímica. Universidad de Barcelona.
** Instituto Jaime Almora, C.S.I.C. Universilad de Barcelona.

INTRODUCCION

El objeto de este trabajo es conocer el comportamiento diagenético de las arenas calcáreas recientes formadas en condiciones submarinas (playa y «offshore») y su posterior evolución en condiciones subaéreas, tanto en aguas vadosas como freáticas, hasta convertirse en una roca dura, compacta y fósil. Los trabajos publicados respecto a la diagénesis subaérea en sedimentos calcáreos han tenido gran desarrollo durante los últimos años, aunque la importancia de la diagénesis subaérea ya fuera puesta de manifiesto por CULLIS (1904), GINSBURG (1957), SCHLANGER (1963), FRIEDMAN (1964), etc. La gran mayoría de autores han trabajado en materiales procedentes de zonas con climas tropicales a subtropicales; LAND, MACKENZIE y GOULD (1967), LAND (1970, 1971), etc. en las calcarenitas pleistocenas de la isla de Bermuda: MATTHEWS (1968, 1974), PINGITORE (1970), WINLAND (1971), STEINEN (1974), STEINEN y MATTHEWS (1973), JAMES (1974), etc. en los sedimentos arrecifales y pararrecifales pleistocenos de la isla de Barbados; LAND y EPSTEIN (1970), etc. en la isla de Jamaica; WARD (1975) en eolianitas de la península del Yucatán; MULLER y TIETZ (1975), etc. en biocalcarenitas del pleistoceno de Canarias. Por el contrario, los trabajos de diagénesis subaérea (exceptuamos los realizados sobre caliches, suelos, rizocreciones, etc.) en climas templados y poco lluviosos son escasos, destacando en el área Mediterránea los de GAVISH y FRIEDMAN (1969), SELIM (1974), y CALVET (1974).

Para obtener una visión secuencial, progresiva de los procesos diagenéticos seguimos a grandes rasgos la pauta señalada por los únicos trabajos sobre evolución diagenética de los sedimentos carbonatados: LAND, MACKENZIE y GOUL (1967) en calcarenitas de Bermudas y GAVISH y FRIEDMAN (1969) en colianitas de Israel.

El material escogido para este trabajo ha sido la secuencia casi completa del Pleistoceno de Mallorca, y muestras de sedimentos actuales y del Plioceno y Mioceno Superior que sirven de referencia límite. Para facilitar el estudio se ha trabajado con biocalcarenitas, que por otra parte es el tipo de material más abundante del Pleistoceno marino de Mallorca. Se parte de los datos estratigráficos ya publicados (BUTZER y CUERDA, 1960, 1962; CUERDA, 1957, 1975; etc.). Los principales niveles estudiados han sido el Reciente, Tirreniense III o Neotirreniense (Wurm I — Wurm II), Tirre-

niense II o Eutirreniense (interglacial Riss — Wurm), Tirreniense I o Paleotirreniense (interglacial Mindel — Riss), Plio-cuaternario, Plioceno y Mioceno. La edad absoluta de algunos niveles de Mallorca es conocida gracias al trabajo de STEARNS y TURBER (1965), basados en la relación Th-230 y U-234 en moluscos fósiles.

SINTESIS DE LA EVOLUCION DIAGENETICA

La síntesis de los resultados petrológicos, mineralógicos y geoquímicos de los procesos diagenéticos, así como de sus interrelaciones, en los distintos niveles marinos pleistocenos de Mallorca se resumen en las figuras 1 y 2. Se comparan los estadios diagenéticos de los niveles estudiados con los estadios diagenéticos dados en los trabajos de LAND y otros (1967) y GAVISH y FRIEDMAN (1969), Cuadro I.

Reciente:

Arenas de playa y «offshore» no consolidadas. Compuestas mineralogicamente de: aragonito (moluscos) calcita magnesiana (algas, rodofíceas, en su mayoría fragmentos de coralinas articuladas; foraminiferos, principalmente de textura porcelanada y también hialinos; equinodermos: calcita (litoclastos, algunos moluscos), dolomita (litoclastos) y dedolomita (litoclastos). Los fragmentos de moluscos afectados por un proceso de micritización (Fot. 1) semejante al mecanismo de «boring-and infilling» (BATHURST, 1966, 1971; WINLAND, 1971; ALEXANDERSON, 1972). Parte de los foraminíferos porcelanados (20 %) afectados por perforaciones atribuídas a algas unicelulares. La micritización de los fragmentos de algas rodofíceas se realiza por un mecanismo similar al de reordenamiento de los cristales criptocrisltaninos (PURDY, 1968 y BATHURST, 1971), provocando la transformación calcita magnesiana a calcita y una pérdida gradual de la textura inicial de la alga.

Se observan procesos de cementación muy inicial en la porosidad intrapartícula de algunos componentes. En el interior de las cámaras de las algas rodofíceas aparecen cementos de hábito poliédrico y tamaño micrítico atribuidos a calcita magnesiana (Fot. 2). Existe relleno de la porosidad interna de los fragmentos de equinodermos por cemento en continuidad óptica con el grano. En las cámaras de algunos foraminíferos (Miliólidos, Peneróplidos,

Hemotrema rubrum) existen pequeños desarrollos de cemento fibroso de aragonito (Fot. 3).

Las concentraciones de magnesio, manganeso y hierro presentan una anomalía negativa, que se infiere que en parte se debe a las alteraciones antes citadas de los componentes producida por los procesos diagenéticos, tanto en el estadio predeposicional como deposicional.

Tirreniense III

(Aproximadamente 75.000 años): Calcarenitas friables. La característica de este nivel es la cementación (reducida a un 4 % de la porosidad inicial) de la roca mediante cementos de estilo discontinuo, principalmente de tipo menisco (DUNHAM, 1971). El cemento menisco corresponde al «grain-to-grain» de FRIEDMAN (1964), GAVISH y FRIEDMAN (1969), y al «grain-contact cement» de LAND y otros (1967), LAND (1970, 1971), etc. El cemento menisco, mineralógicamente de calcita, es típico de la zona vadosa continental, formándose unicamente cuando queda agua de capilaridad en el contacto de los granos (MULLER, 1971). Este cemento produce un redondeamiento de la porosidad intrapartícula (Fot. 4). Los cristales son de tamaño micrítico, de 1 micra a 4 micras, los cuales van creciendo progresivamente hasta tamaños de 20 micras a 50 micras, con hábito subequigranular, y en general con el eje c perpendicular al sustrato (Fot. 4 y 5), atribuyéndose este crecimiento a un fenómeno de interferencia de los cristales (BATHURST, 1971). Otros tipos de cemento presentes en este nivel son el gravitacional y «drusy», este último rellenado las cámaras de los foraminíferos y el interior se observa disolución de aragonito

Un 10 % de los fragmentos de moluscos han experimentado un proceso de calcitización paramórfica del aragonito. La calcita magnesiana ha sido ya totalmente transformada a calcita normal. Se observa la corrosión y reemplazamiento en los bordes de granos de cuarzo detrítico por calzita, proceso que ya no pasará más.

La concentración de estroncio sufre un descenso probablemente debido a los procesos de calcitización paramórfica y disolución muy inicial del aragonito. Las concentraciones de magnesio, manganeso, hierro, zinc, plomo y cobre son iguales o ligeramente superiores a las del Reciente.

La cementación del Tirreniense III se encuentra entre los estadios II y III de LAND y otros 1967) y en el estadio II de GAVISH y RIEDMAN (1969). Respecto a la mineralogía, se encuentra entre el estadio III y IV de LAND y otros (1967) y entre el estadio II y III de GAVISH y FRIEDMAN (1969).

Tirreniense II

(Aproximadamente 135.000 años): Calcarenitas con la cementación más avanzada (11 % respecto de la porosidad original) que el nivel anterior. El cemento más típico de este nivel es el gravitacional (MULLER, 1971), cuyo espesor varía de 50 micras a 500 micras, y que en algunos casos pueden alcanzar un gran desarrollo de dimensiones parecidas a las del cemento microestalactítico de PURSER (1969). Se observan cementos gravitacionales con una, dos, tres o más laminaciones, de espesor medio comprendido entre 40 micras a 200 micras. Cada laminación presenta una discontinuidad en forma de línea oscura («dust line» CULLIS 1904), (Fot. 6). Los cristales crecen perpendicularmente al sustrato rompiendo las laminaciones, lo que hace pensar en un tipo de crecimiento de cristales radiales de calcita similar al encontrado por SANDBERG (1975) en ooides de Great Salt Lake, más que a la existencia de un proceso neomórfico de una textura fibrosa (?) original. A partir del cemento gravitacional y menisco hay un pequeño desarrollo de cemento «blocky», cuyo tamaño de cristales está comprendido entre 10 micras y 50 micras, de hábito equidemensional a prismático (Fot. 6).

En este nivel existe un proceso de micritización de los fragmentos de molusco por el mecanismo que nosotros denominados «chalkification». Entendemos a este proceso de micritización en medio vadoso continental como la alteración de las microestructuras originales de aragonito a una fábrica desordenada de fibras de aragonito. Las muestras de mano pierden su aspecto inicial translúcido, coherente y duro y se convierten en friables, pulvurulentas y blancas, dando lugar a un producto equivalente al definido como material «chalky» por NELSON (1959). Este mecanismo en los materiales estudiados tiene las siguientes propiedades: (1) Carácter gravitacional, indicando que son las aguas vadosas descendientes que producen este proceso (Fot. 7). (2) Selectivo, la «chalkification» avanza lámina a lámina, reproduciendo la microestructura original, propiedad observada ya por ALEXANDERSON (1972). (3) Control microestructural, avanza más rá-

pidamente en aquellas láminas con el eje c de las fibras está orientado en la dirección del fluído, que en aquellas láminas cuyos cristales están orientados perpendicularmente (Fot. 8). Carácter observado por FYFE y BISCHOFF (1966) y JAMES (1974). (4) El mecanismo de la micritización está intimamente relacionado con la disolución del aragonito en medio vadoso (Fot. 8), (ALEXANDERSON, 1972 y JAMES, 1974). Existen procesos de calichificación, tanto en disposición horizontal como fisural, de un desarrollo aproximado de 2 a 10 mm. de espesor.

Las concentraciones del magnesio y del estroncio experimentan un ligero descenso que correlacionamos con el lento avance del proceso de disolución del aragonito. Las concentraciones de manganeso, zinc, plomo y cobre permanecen estables, mientras que la del hierro experimenta un gran aumento.

Este nivel se encuentra en un estadio diagenético algo más avanzado que el nivel Tirreniense III, por lo que se puede situar respecto a las escalas diagenéticas de LAND et alt. (1967) y GAVISH y FRIEDMAN (1969) en la misma posición que el nivel anterior.

Tirreniense I

(Aproximadamente 300.000 años). Calcarenitas donde la cementación ocupa un 18 % de la porosidad inicial. La mineralogía queda reducida a la calcita —y a la dolomita y dedolomita de los litoclastos— debido a los procesos de calcitización paramórfica del aragonito que afectan a un 60 % de los fragmentos de moluscos (Fot. 9), y a la disolución ya total del aragonito, con la consiguiente formación de porosidad móldica y precipitación parcial de cemento «drusy». Existe un proceso neomórfico agrandante a partir del cemento «drusy» (Fot. 10). Tanto el proceso de calcitización paramórfica del aragonito como los procesos neomórficos, son procesos localizados en algún o algunos afloramientos de este nivel. Por lo que respecta al primer proceso, este se halla en parte presente cuando los sedimentos son principalmente lumaquelas. En este proceso tendríamos un control de facies, más que una cuestión de evolución diagenética. Por el contrario la disolución total del aragonito con la consiguiente formación de porosidad móldica y relleno de cemento es un carácter típico de este nivel. La cementación se realiza mediante cemento esparítico de calcita normal que denominamos

«drusy» cuando rellena los espacios intragranulares y «blocky» cuando rellena los espacios intergranulares (Fot. 11). Ambos cementos son típicos de la zona freática continental (BRICKER, 1971; LAND, 1970, 1971; STEINEN, 1974, etc.). En algunos afloramientos domina la micrita, con canalillos de redisolución y microesparitización dando lugar a una textura pelletoidal típica de los procesos de calichificación (ESTEBAN, 1974).

Las concentraciones de magnesio, estroncio y manganeso experimentan un descenso —que en el caso del estroncio es muy acentuado— que relacionamos con la desaparición del aragonito. El zinc experimenta un ligero descenso y el hierro un descenso brusco, pero estas disminuciones son difícilmente correcionables con la eliminación del aragonito. Tanto el plomo como el cobre permanecen estables.

Respecto a la cementación este nivel se encuentra en el estadio III y fase inicial del IV de LAND y otros (1967) y en el estadio II de GAVISH y FRIEDMAN (1969), mientras que respecto a la mineralogía se situa en el estadio IV de LAND y otros (1967) y en el estadio III de GAVISH y FRIEDMAN (1969).

Plio-cuaternario, Plioceno y Mioceno:

Se incluyen estos tres niveles en un mismo apartado por encontrarse en estadios diagenéticos avanzados similares.. Calcarenitas de composición diversa según la edad y el afloramiento. La cementación aumenta progresivamente hasta ocupar la totalidad de la porosidad inicial (Fot. 12), mediante cemento «blocky», de tamaño de cristales comprendido entre 10 micras y 100 micras. Es de destacar la existencia de una segunda generación de calcita neomórfica porfirotópica en algunos afloramientos, y de procesos de calzitización paramórfica del aragonito en las facies lumaquélicas del Mioceno Superior (Fot. 13).

A partir del Plio-cuaternario se estabilizan las concentraciones de magnesio, estroncio, manganeso, zinc, plomo y cobre.

Respecto la cementación estos niveles equivalen al estadio IV de LAND y otros (1967) y entre el estadio II y III de GAVISH y FRIEDMAN (1969), y respecto a la minerología y procesos diagenéticos equivalen al estadio V

de LAND y otros (1967) y al estadio V de LAND y otros (1967) y al estadio IV de GAVISH y FRIEDMAN (1969).

CONSIDERACIONES SOBRE LOS CONTROLES DE LA DIAGENESIS EN EL MEDIO CONTINENTAL

Al intentar sintetizar los resultados obtenidos en un modelo diagenético evolutivo de los sedimentos carbonatados de playa, según la metodología de LAND y otros (1967) y de GAVISH y FRIERMAN (1969), hemos constatado las injerencias de un conjunto de factores locales —controles de la diagénesis continental— que modifican la evolución progresiva de la diagénesis. Para nosotros los principales controles son los que provienen de las características propias del sedimento —principalmente el control textural y el mineralógico— y los controles que áctuan después de la deposición, siendo los más importantes el control climático, control hidrológico y en menor escala el control edáfico.

Por ejemplo si comparamos afloramientos de la misma edad cronológica y facies semejantes, como es el caso de los afloramientos del Tirreniense III de Campo de Tiro, a 5 Kms. al Este de Palma y de Palma Nova a 15 Kms. al Oeste de Palma, constatamos que la historia diagenética en cada uno de ellos ha sido distinta. Así, en el afloramiento de Campo de Tiro se observa: cementos menisco y gravitacional, disolución inicial de parte de los fragmentos de moluscos, calatización paramórfica de un 25 % de los fragmentos de moluscos y un proceso de micritización de las algas rodofíceas. En el afloramiento de Palma Nova, el cemento de la roca actual es de calcita fibrosa de estilo contínuo y no se aprecia ningún tipo de alteración de los componentes aragoníticos. Por tanto sedimentos de edad y facies iguales tienen diferente historia diagenética, así en Campo de Tiro han actuado de forma activa los procesos típicos de la zona vadosa continental, mientras que en Palma Nova la diagénesis vadosa continental practicamente no ha actuado, preservándose gran parte de las características —cemento fibroso y aragonito— iniciales.

Se ha puesto de relieve el control textual en los procesos de cementación diferencial de las calcarenitas del Pleistoceno mallorquín. En general los sedimentos de tamaño arena fina se cementan más rápidamente que las

de tamaño arena y estos que los de tamaño limo. Se sugiere la hopótesis del balance entre permeabilidad y tamaño del poro a rellenar, siendo en el tamaño arena fina donde se darían las mejores condiciones para la cementación. Por lo tanto, podemos decir que en parte el proceso de cementación depende de este balance y no de la edad del yacimiento. Así, eolianitas de tamaño limo de Plioceno están mucho menos cementadas que gran parte de las calcarenitas del Pleistoceno Superior.

CONCLUSIONES

1.—Se ha comprobado que la mayor parte de los procesos diagenéticos que transformarán un sedimento actual en una roca fósil ocurren antes de finalizar un periodo equivalente al Pleistoceno, que en nuestros materiales podemos situar en el Tirreniense I (aproximadamente 300.000 años).

2.—La evolución diagenética de un sedimento es variable para cada afloramiento dependiendo de la variabilidad del nivel piezométrico, duración de permanencia del sedimento en un medio diagenético, actuación de los controles de los procesos diagenéticos como textural, mineralógico, climático, hidrológico, etc., más que un proceso global y progresivo.

3.—Es muy difícil que los elementos traza nos indiquen una tendencia diagenética Los resultados geoquímicos obtenidos están más cerca de las hipótesis de la disolución incongruente de SCHROEDER (1969), que de la teoría evolutiva, secuencial y progresiva de GAVISH y FRIEDMAN (1969). Aunque se puedan utilizar con muchas reservas el estroncio, magnesio y manganeso como indicadores geoquímicos de la tendencia diagenética mientras que el hierro, zinc, plomo y cobre no muestran una evolución regular.

4.—Es difícil intentar correlaciones con los esquemas obtenidos por métodos semejantes en las eolianitas de la costa norte de Israel (GAVISH y FRIEDMAN, 1969) y en las calcarenitas de Bermudas (LAND, MACKENZIE y GOUL, 1967). Respecto estos esquemas observamos en primer lugar un retraso en el proceso de cementación de los materiales a lo largo del Pleistoceno que podemos explicar por las distintas condiciones de afloramiento y de las distintas condiciones climáticas y pluviométricas. En segundo lugar se aprecia un adelanto de los procesos de disolución del aragonito.

5.—No hemos observado el proceso de reemplazamiento dolomítico del cemento «drusy» entre los bioclastos de moluscos citados por FRIEDMAN (1964, p. 798-799) en las eolianitas Risc de Mallorca. A nuestro entender se trata de abundantes litoclastos de dolomía y dedolomía mesozóicas (?) existentes en las eolianitas.

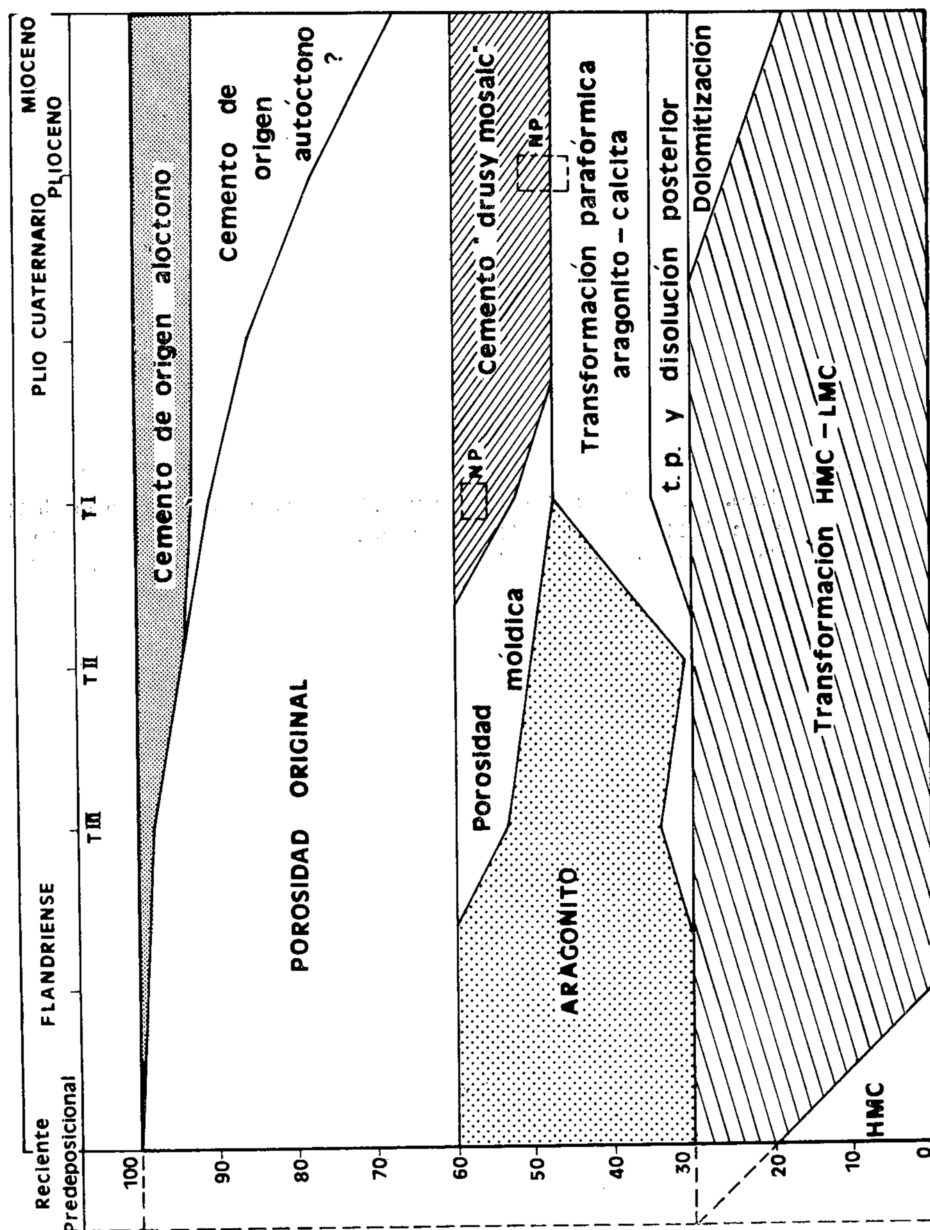
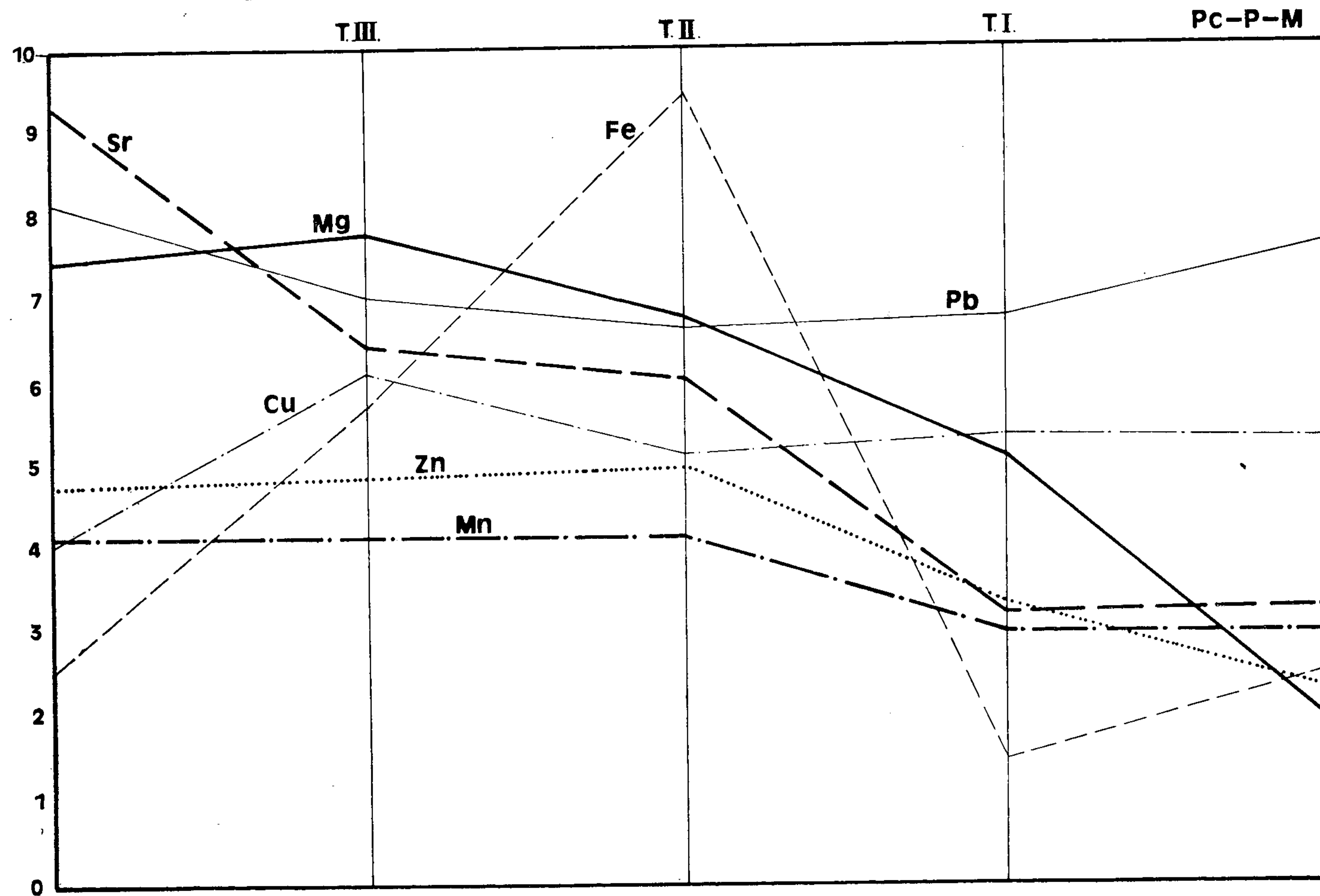


Figura 1. Evolución diagenética de los sedimentos marinos del Pleistoceno de Mallorca, expresada gráficamente siguiendo el esquema de GAVISH y FRIEDMAN (1969). T.III, Tirreniense III; T.II, Tirreniense II; T.I., Tirreniense I; HMC, caleita magnesiana; LMC, calcita normal; N.P., procesos neomórficos; t.p., transformación paramórfica.

Figura 2. Evolución diagenética de los elementos traza en el Pleistoceno marino de Mallorca. Valores del Sr × 100 ppm.; Mg × 200 ppm.; Mn × 10 ppm.; Pb × 10 ppm.; Fe × 25 ppm.; Zn × 5 ppm.; Cu × 5 ppm. T.III, Tirreniense III; T.II, Tirreniense II; T.I., Tirreniense I; Pc-P-M, Plio-cuaternario, Plioceno, Mioceno.


EVOLUCION DIAGENETICA DE LOS ELEMENTOS TRAZA
T.III.
T.II.
T.I.
Pc–P–M
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
Sr
Fe
Mg
Pb
Cu
Zn
Mn



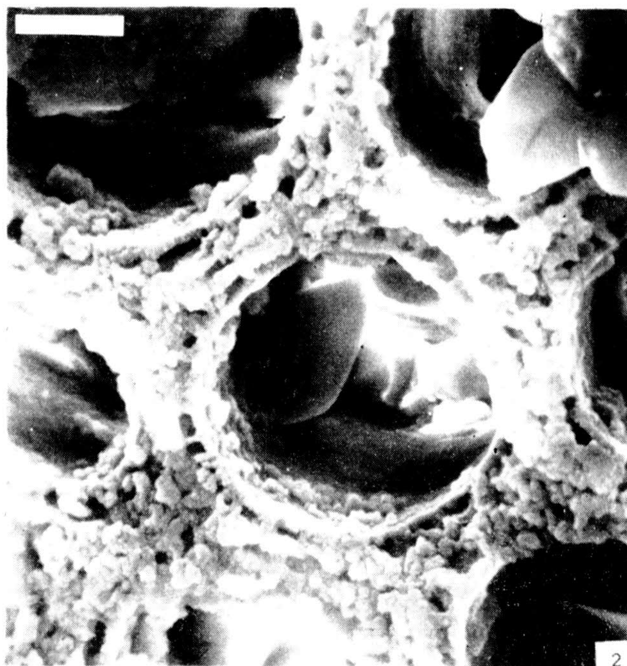


Foto 1. Reciente. Menorca. Fragmento de molusco afectado por el proceso de micritización mediante el mecanismo de «boring and infilling». Perforaciones atribuidas a esponjas en la forma denominada «marginal pits» por ALEXANDERSON (1972), y perforaciones atribuidas a algas unicelulares vacías o parcialmente rellenas denominadas por este autor «simple tunnels».

Foto 2. Reciente. Mallorca. Alga rodoficea. Se observa el reordenamiento de los cristales de micrita en la pared de la alga. Dentro de las cámeras se desarrollan dos tipos de cemento, uno de un tamaño de décimas de micra y otro idiomórfico y tamaño comprendido entre 5 micras y 10 micras. (Escala gráfica: 4 micras).

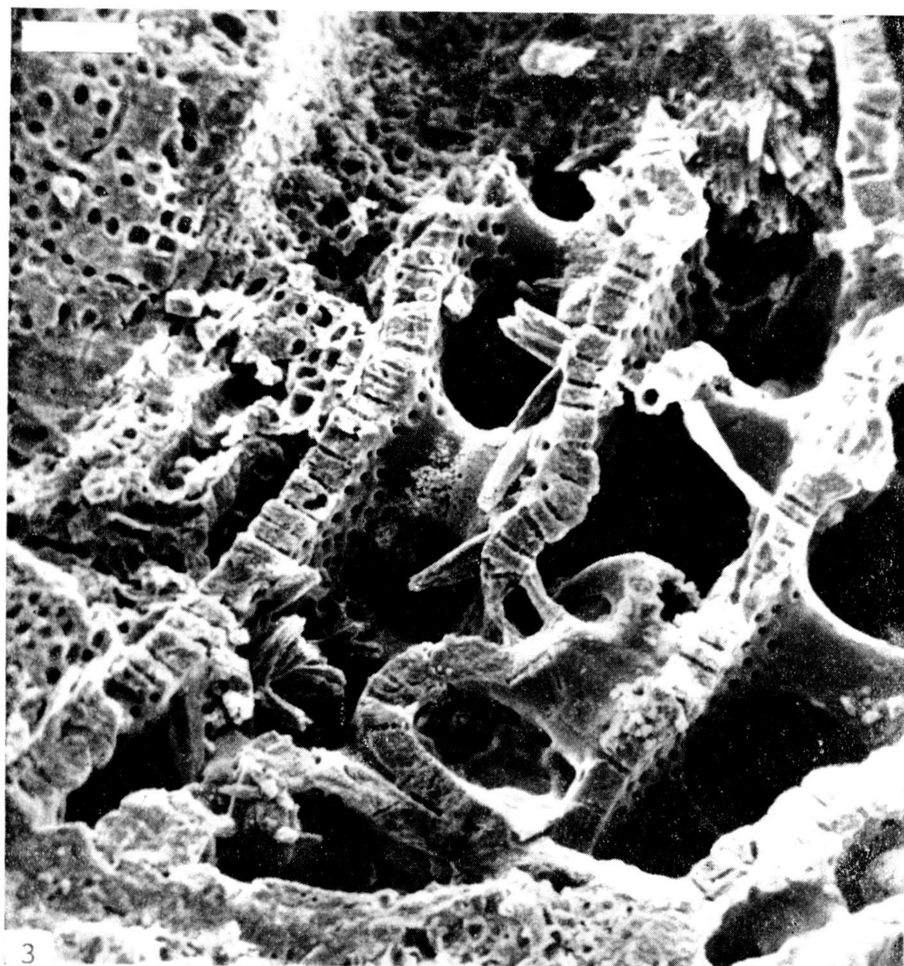
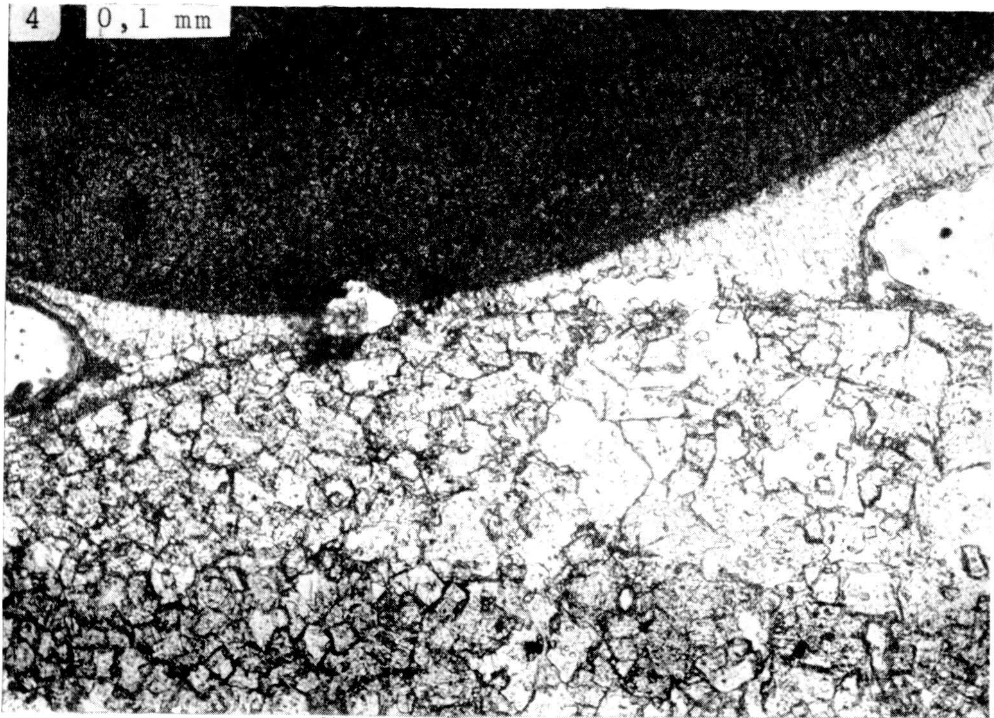


Foto 3. Rodolito reciente. Mallorca. contacto entre las algas rodofíceas y *Homotrema rubrum* incrustante. En las cámeras del foraminífero cemento fibroso de aragonito. (Escala gráfica 50 micras).

Foto 4. Tirreniense III. Campo de Tiro. Mallorca. Cemento menisco con los cristales con cierto hábito prismático, redondeamiento de los poros entre un fragmento de alga rodoficea y litoclasto de dolomía hipidiotópica.

Foto 5. Tirreniense III. Mallorca. Cemento menisco. Los cristales aumentan progresivamente a medida que están más lejos del punto de contacto entre los granos, y orientados preferentemente con el eje c perpendicular al sustrato. (Escala gráfica 100 micras).


4
0,1 mm

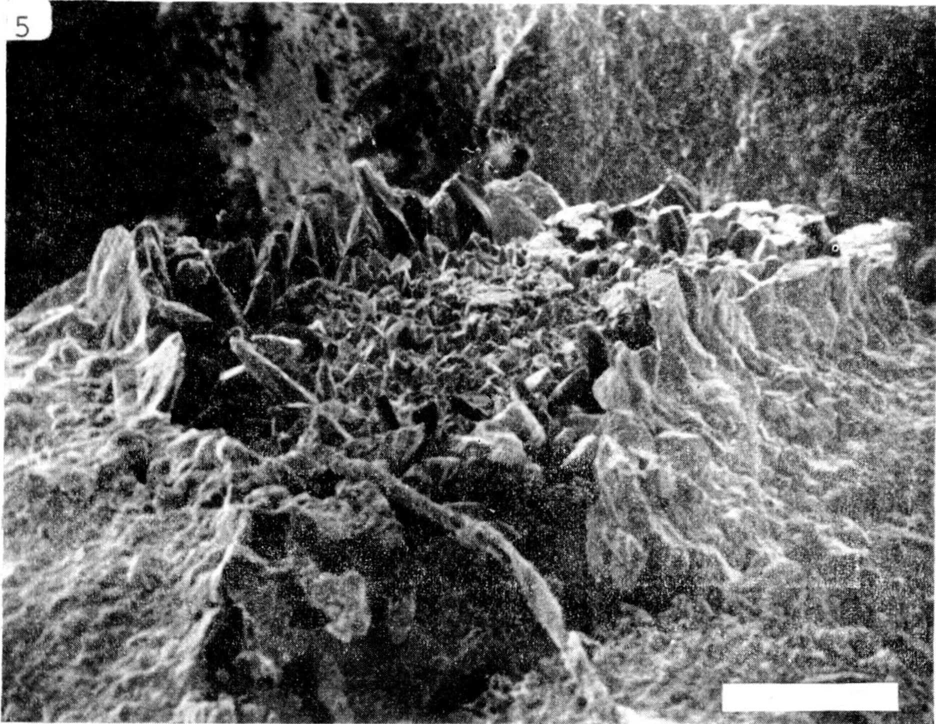
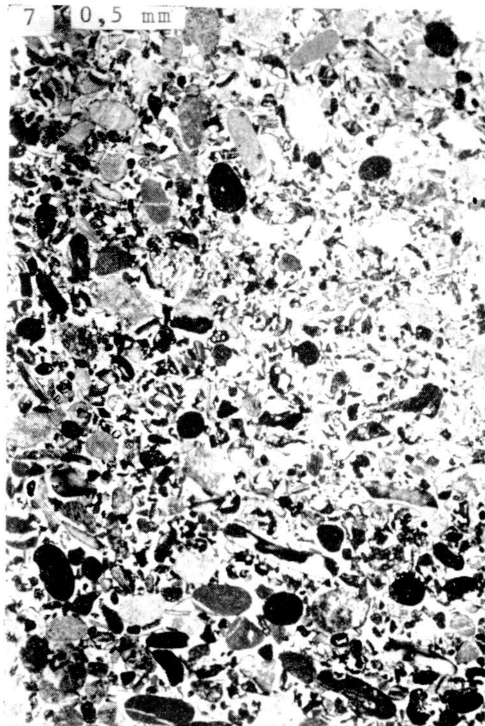

5

Foto 6. Tirreniense II. Campo de Tiro. Cemento gravitacional con tres láminas separadas por «dust line» en la parte inferior de un litoclasto de micrita. Segunda generación de cemento «blocky» con cristales equigranulares.

Foto 7. Tirreniense II. Campo de Tiro. Aspecto general de una biocalcarenita de playa, donse se observa el carácter gravitacional del mecanismo de «chalkification» en los fragmentos de moluscos. Cemento gravitacional en la parte inferior de los componentes.

Foto 8. Tirreniense II. Campo de Tiro. Fragmento de molusco en el que se aprecia el control microestructural que ejercen las láminas con el eje c de las fibra orientadas en la dirección del movimiento del fluido respecto el mecanismo de «chalkification». Disolución mediante el mecanismo de «selective dissolution» en la parte de la concha «chalkificada».


6
0,1 mm


7
0,5 mm

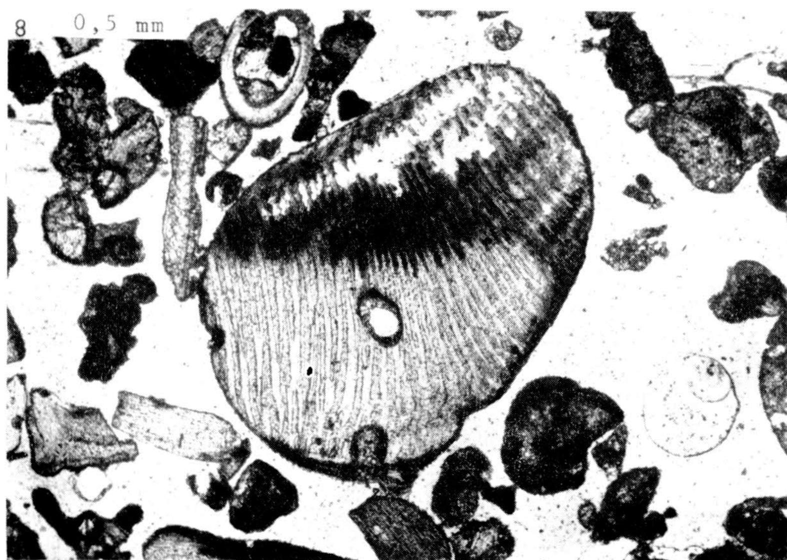
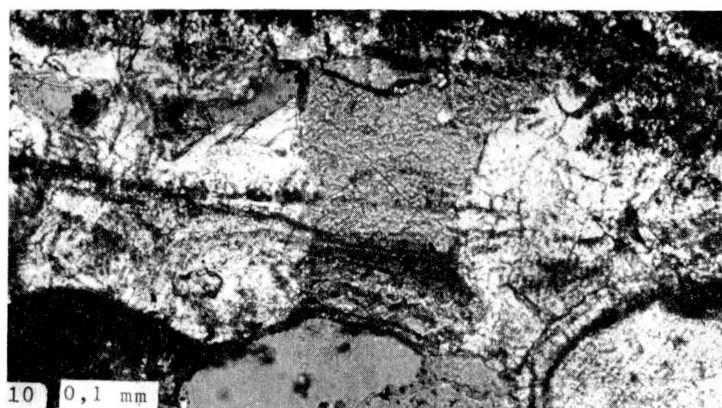

8
0,5 mm

Foto 9. Tirreniense I. Cala Blava. Fragmento de molusco con calcitización paramórfica del aragonito y disolución posterior.

Foto 10. Tirreniense I. Cala Blava. Nicoles cruzados y cuña de cuarzo. Calcita neomórfica porfirotópica creciendo a expensas del cemento «drusy». Los cristales perfirotópicos atraviesan la envuelta micrítica que queda desdoblada.

Foto 11. Plioceno. Son Mulet. Cemento «drusy» en el interior de los fragmentos de molusco mediante el mecanismo de disolución — formación de porosidad móldica — y relleno posterior. Cemento «blocky» inicial.


9
0,5 mm


10
0,1 mm

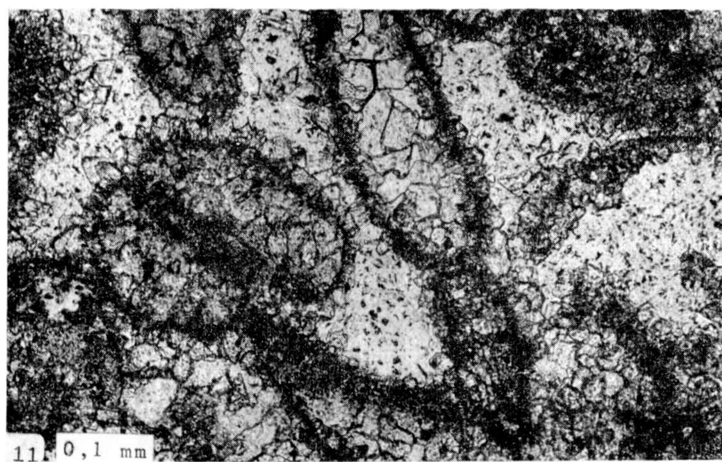
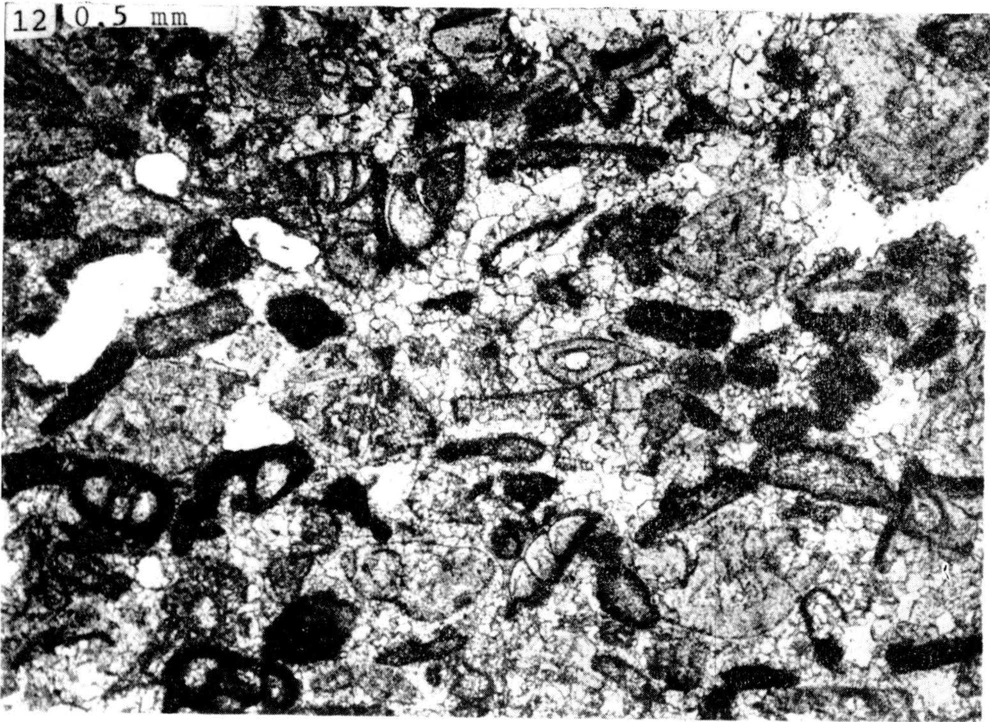
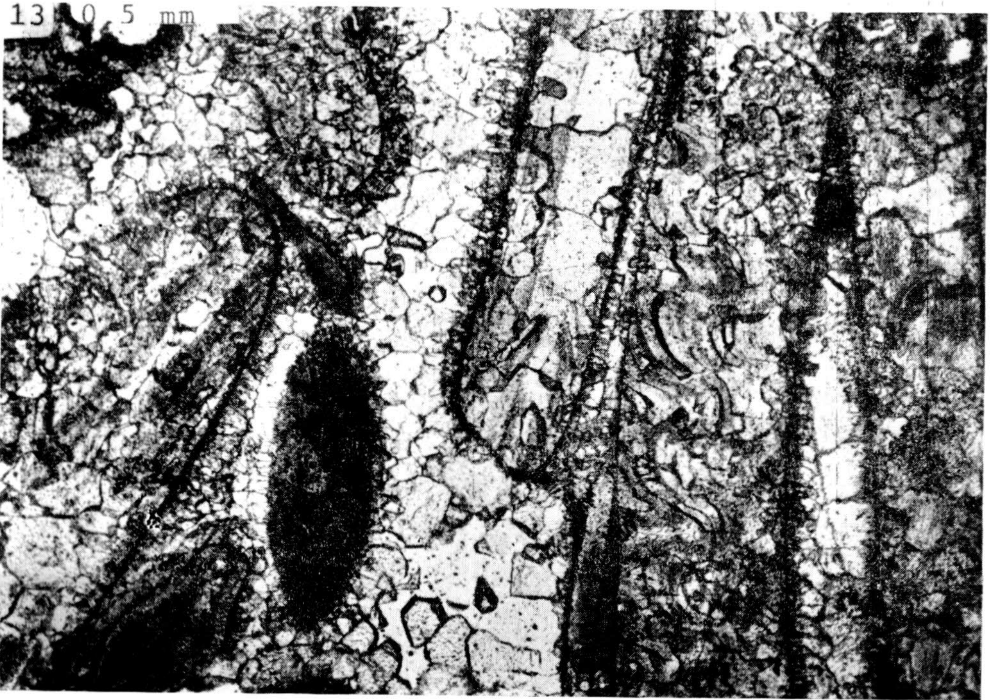

11
0,1 mm

Foto 12. Tránsito Plioceno — Mioceno Superior. Son Ariany. Calcarenita con la porosidad inicial ocupada casi totalmente por cemento «blocky», constituida por foraminíferos (porcelanados, hialinos), peloides, fragmentos de moluscos, etc.

Foto 13. Tránsito Plioceno — Mioceno Superior. Son Ariany. Lumaquela con los fragmentos de moluscos con calcitización paramórfica del aragonito. Una primera generación de cemento originalmente fibroso (?) y una segunda generación de cemento «blocky».


12
0.5 mm


13
0.5 mm

LAND, MACKENZIE y GOULD (1967)	GAVISH y FRIEDMAN (1969)	CALVET (1974)
Estadio I. Arenas no consolidadas	Estadio I. Reciente. Arena no consolidada, compuesta de aragonito, HMC y LMC.	Reciente. Arenas no consolidadas. Compuestas mineralógicamente de aragonito, HMC, LMC, dolomita y dedolomita. Procesos típicos de condiciones submarinas: micritización moluscos, algas rodofíceas. Cemento intrapartícula de HMC y aragonito. Anomalía megativa concentraciones de magnesio y manganeso.
Estadio II. Primera cementación. Cemento menisco de LMC y cemento en los poros de los bioclastos. No hay cambios mineralógicos.		
Estadio III. Pérdida de magnesio. Cemento de origen alóctono. Mineralogía de aragonito y LMC. Pérdida de magnesio (debido pérdida de HMC). No hay disolución de carbonato cálcico.	Estadio II. (Late Glacial, Wurm). Ligeramente cementados "grain-To-grain. La HMC transformada a LMC. No hay disolución de aragonito, Reemplazamiento parcial cuarzo-calcita. Se inicia reemplazamiento paramórfico aragonito-calcita. Descenso de magnesio, estroncio, manganeso y uranio.	Tirreniense III. Calcarenitas friables. Principalmente cemento menisco. Disolución muy inicial del aragonito. Transformación calcita magnesiana-calcita normal. Transformación cuarzo-calcita. Tirreniense II. Calcarenita con cementación inicial, principalmente por cemento gravitacional. Proceso gravitacional de micritización mediante el mecanismo de "chalkification" en fragmentos de moluscos. Disolución avanzada del aragonito. Ligero descenso del magnesio y estroncio.
Estadio IV. Disolución-precipitación. Disolución del aragonito, formación de porosidad móldica y precipitación cemento. Calcitización paramórfica insitu. Cemento origen autóctono. Pérdida de estroncio, materia orgánica y uranio.	Estadio III. (U.P.G.L. Riss). Porosidad interpartícula rellena totalmente por cemento de LMC. Disolución total del aragonito, formación porosidad móldica y rellena de crusy mosaic. Descenso del magnesio y manganeso, y descenso brusco del estroncio y uranio (por disolución aragonito).	Tirreniense I. Disolución total del aragonito, formación de porosidad móldica y relleno parcial de cemento "drusy". Calcitización paramófica del aragonito de un 60% de moluscos en las facies lumaquélicas. Procesos neomórficos. Descenso brsuco del estroncio, y del magnesio y manganeso (debido eliminación del aragonito).
Estadio V. Material formado exclusivamente de LMC. Porosidad residual.	Estadio IV. (P.I.G.L; A.PI.G.L; Mioceno). Pocos cambios respecto estadio III. Segunda generación de calcita en P.I.G.L. Descenso de estroncio.	Plio-cuaternario. Plioceno y Mioceno. La cementación aumenta progresivamente hasta ocupar la totalidad de la porosidad inicial. Procesos neomórficos en el Plioceno y de calcitización paramórfica en lumaquelas del Mioceno Superior. Estabilización de los elementos traza.

Cuadro I. Cuadro resumen de las escalas diagenéticas de LAND, MACKENZIE y GOULD (1967), de GAVISH y FRIEDMAN (1969) y de CALVET (1974).